



嶋 正利氏

1943 年 8 月 22 日生まれ
 1967 年 東北大学理学部化学第二学科卒業、
 ビジコン社に入社
 1972 年 米インテルに移る
 1975 年 米ザイログに移る
 1980 年 米国より帰国し、インテル・ジャパン・
 デザインセンタを設立
 1986 年 プイ・エム・テクノロジーを設立
 2000 年 会津大学教授

受賞・栄誉等：

1992 年 論文「マイクロプロセッサのハードウェ
 アアーキテクチャの最適化に関する研
 究」により筑波大学より工学博士の学
 位取得
 1997 年 世界初のマイクロプロセッサの開発に
 より第 13 回京都賞を受賞
 1998 年 米国の半導体生誕 50 周年記念大会
 で "Inventor of MPU (Micro Processor
 Unit) " を受賞

今回は、世界初のマイクロプロセッサ 4004 の生みの親であり、インテル
 やザイログにおける数々の名機の開発者として知られる嶋正利氏にお話を
 伺った。

オーラルヒストリー 嶋 正利氏インタビュー[†]

インタビューア (五十音順)

旭 寛治¹ 湖東俊彦² 発田 弘³
 前島正裕⁴ 山田昭彦⁵

[†] 日時：2007 年 11 月 1 日

場所：学会館

生い立ち

嶋氏は 1943 年、静岡に生まれた。子供の頃は算数、理科、図工、水
 泳が好きだった。中学 3 年の時、当時流行っていたロケット遊びで調査
 していた火薬が爆発し、右手に大怪我をした。しかし、「右手を怪我し
 て左手が使えるようになれば、右の脳が活性化して感性が豊かになるん
 じゃないか」と何事にも前向き思考の嶋氏は動じなかったという。

少年時代から何をやるにも工夫するのが好きだった。何かをやれと言
 われてもそのままやろうとはせず、自分流に何か工夫してやってみるの
 が常だった。独創的研究が盛んな東北大学理学部に入ったのも、そうい
 う自分に合っていると思ったからであった。学部 3 年の時には、それぞ
 れ異なる学科の学生 5 人ほどで一軒家を借りた。皆いろいろな考え方を
 持っており、あれこれ議論を重ねる中で、幅広い視点で物事を考える力
 が身についた。

専門課程では、有機化学を専攻した。7 員環のトロポロンの研究に取り
 組んだが、右手を怪我しているため、この分野に進むことは難しいと
 感じた。ちょうどそのころ、研究室の院生が東京大学の大規模計算機セン
 ターで研修を受けて帰ってきた。話を聞くと、世の中には「電子計算機

¹ 日立製作所 ² 情報処理学会 ³ 沖コンサルティングソリューションズ ⁴ 国立科学博物
 館 ⁵ コンピュータシステム&メディア研究所



インタビューの様子：（左から）山田昭彦，前島正裕，発田 弘，旭 寛治，湖東俊彦，嶋 正利氏

というもの」があるのだという。大いに興味を持った嶋氏は、電卓や電子計算機を開発していたビジコン社に入社した。開発は科学と工学の中間にあり、何かおもしろそうなことができるのではないかと期待があった。

ビジコン社

新入社員教育で手回し計算機を使用して加減乗除などの計算の仕組みを学んだ後、当時ビジコン社が販売していた三菱電機の MELCOM 3100 を使ったコンピュータ教育を受けた。約6カ月にわたり、COBOL、FORTRAN、アセンブリ言語を学び、それでいろいろ実務をやった。「プログラミングはちょっとインテリジェントな仕事なので、知的欲望を満たす感じで、非常におもしろかった」と嶋氏は言う。特にコンピュータの命令に興味を覚えたそうだ。

教育が終わると COBOL を使う実務を担当することになったが、事務計算は興味が持てなかった。新入社員教育の時に触れた電卓がおもしろそうだと思う、電卓部門への異動を希望。日本計算器製造に出向し、大阪の茨木に移った。同社では、ちょうど IC を使った電卓の開発を始めたところだった。嶋氏は次のように当時を回想する。

「とにかく勉強しなきゃいけないということで、辞書がわりのものも入れて、本を全部で4冊買ったんです。結局月給の大半がなくなったような感じになっ

たんですけれども、1つは、高橋茂さんが書いた『デジタル電子計算機』。この本はコンピュータのすべてが書かれているんですね。ある例題について、いかに論理的につくるかとか、実装方法をどうするかとか。これは非常にいい本だった。それから少し源流を勉強してみようということで、宇田川先生が書かれたオートマトンの本。これは難しかった。もう1つは、日本能率協会から出ていた『PERT』上下2冊。これは大きなプロジェクトをいかにクリティカルパスを見つけながらやっていくか、スケジュールを組んでいくかというもの。あと1つは、オーム社から出ている4～5センチぐらいの厚さの『電子計算機』というハンドブック。これらをよく読んで、ノートに整理をして、そういうことをしながら電卓をやったんです」

電卓には、コンピュータと同じように入出力装置、記憶装置、中央処理装置があり、中央処理装置は、それまで勉強した10進コンピュータを単純化したものだ。「何だ、すごく似ているな」と嶋氏は思った。問題は、プログラムだった。ICを基板の上に搭載し、配線で論理を組んでいくワイヤード論理方式であり、プログラムというものはなかったのだ。電卓の論理が大体飲みこめたところで、試作機の製作を命じられた。図面をもとに布線表をつくり、10枚以上ある基板の間の配線をする。これは案外うまくできた。

その後いったん親元に戻り、静岡県庁の科学鑑識課に勤務したが、3カ月するとビジコンの社長から帰るように言われ、また東京に戻った。1968年7月のこ



1969年頃のインテル

とだった。当時ビジコン社の傘下には、手回し計算機から出発した日本計算器製造のほかに電子技研という会社があった。前者はポケット電卓等を作っていたが、後者はプリンタ付き電卓のような高級志向の製品を開発しようとしていた。

この頃から計算機業界では OEM ビジネスが盛んになり、ビジコンでも、NCR、オリベッティ等に向けた OEM 製品を作っていた。OEM の場合、相手先によってそれぞれ仕様が異なる。たとえば、日本の電卓では「 $1 + 2 =$ 」というのが普通だが、米国では「 $1 + 2 + \text{Total}$ 」というのが一般的であり、小数点以下の取り扱いなども国によって異なる。そうすると、論理に差異が生じ、基板も変わってくる。OEM 先ごとに基板を設計し、製造し、ストックを持たなければならない。これは甚だ面倒なので、ストアードプログラム方式を電卓に導入しようということになった。コンピュータやプログラミングの知識があり、電卓の論理にも通じている嶋氏が方式を考えることになり、これまでの電卓の回路図を基に、各種レジスタ等のハードウェアリソースや命令を定義した。これをハードの設計者に渡し、できあがった電卓にまず国内市場向けのプログラムを入れてみると、期待通りに動いた。今度は米国向けのプログラムを入れてみると、やはりうまく動く。嶋氏からみれば「動いて当たり前」であったが、皆感心したという。セイコーエプソンのプリンタを搭載し、162P という製品名で売り出したところよく売れた。

1968 年の末頃、シャープから 4 個の LSI を搭載した 8 桁の電卓が発表され、ビジコン社でも LSI 化を

急ごうということになった。少し仕事に余裕が出てきた嶋氏が担当することになり、本を買ったり、米国のコンサルタントに関連資料を収集してもらったりして、LSI の勉強をした。そして、10 進のコンピュータに使える LSI を設計し、電卓だけでなく、先々キャッシュレジスタ、伝票発行機、銀行のテラーズマシンなどに応用できるようにするとともに、オフィス機にも使えるように命令を付け加えた。基本設計が終わると、プログラムをいろいろ組んでみて、これで行けそうだということになった。ハードウェア部隊が 80% ぐらい論理を組んだところで、共同開発先の半導体メーカーと打合せを行うことにした。

「これからはたくさんのトランジスタを集積できる半導体プロセスを持っているところと共同開発するのがいいだろうということで、私たちビジコンはアメリカのモステックとインテルを共同開発先に選んだんです。両社ともシリコンゲート MOS の技術開発に成功していました。モステックとはポケット電卓用の LSI をやり、10 進のコンピュータに使える難しいほうの LSI はインテルとやることにしました。なぜそうしたかということ、インテルにはドクター・ノイス^{☆1}がいたからです。ドクター・ノイス、イコール神様でしょう。何でもできると思ったわけですよ」

4004 の開発

1969 年 6 月、プロジェクトマネージャの増田氏、米国駐在経験のある高山氏、そして「一番下っ端の技術者」として嶋氏の 3 人で渡米した。サンフランシスコの空港に着くと、インテルのテッド・ホフ^{☆2}が迎えに来ていた。彼の車は赤いリンカーンのオープンカーで、内装は白の革張りだった。それに乗って、インテルのあるマウンテンビューまで広いフリーウェイを高速で飛ばした。「おお、これがアメリカなんだ」と嶋氏は感激した。独身者用のアパートに案内され、中に入ってみると、アメリカ映画で見た豊かな世界が広が

☆1 Robert Noyce, インテルの共同創業者の 1 人。

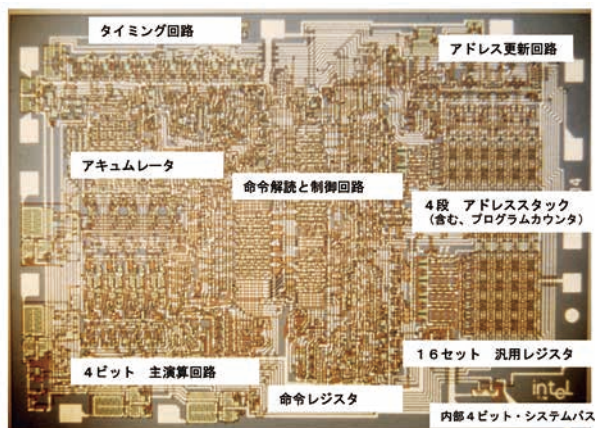
☆2 Marcyan Edward Hoff Jr., マイクロプロセッサの発明者の 1 人。



4004 チップを使った電卓



4004 チップを使った電卓の基板

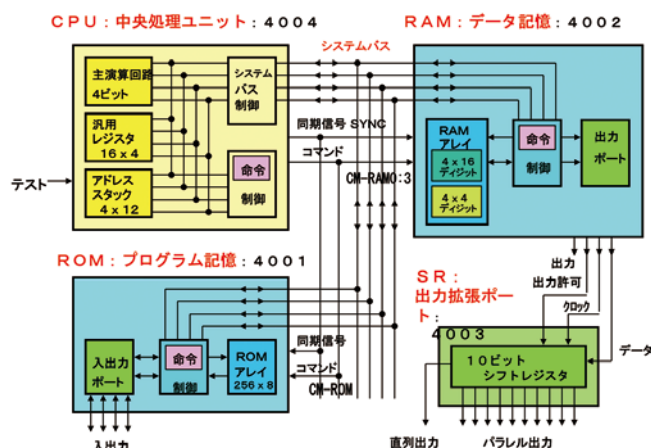


4004 チップ写真

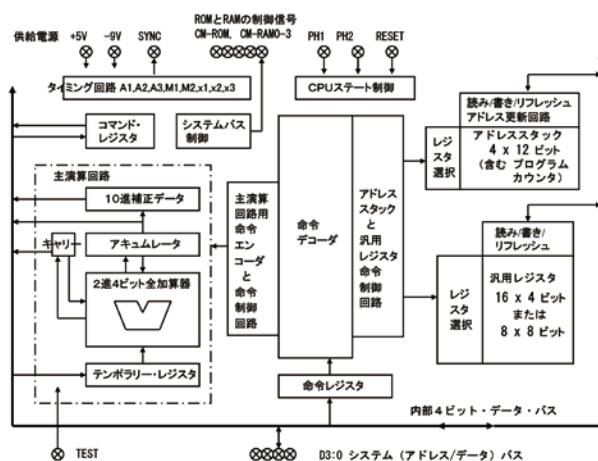
っていた。キッチンには電気コンロやオーブン、大型の冷蔵庫があり、広いリビングルームにベッドルームが2室、談話室やジム、ビリヤードやプールも付いていた。

さっそくオフィスに行き、打合せを開始した。ところが、図面を広げインテルの担当者に話してもまったく通じない。論理の説明をしても理解してくれない。話を続けるうちに理由が分かってきた。当時、創立1年余りのインテルはメモリに特化した会社で、技術者の大半は化学と物性と回路の専門家であって論理設計者がまったくいなかったのだ。それに、その頃アメリカで電卓を開発・製造している会社はHPのほかに1社程度しかなく、インテルは電卓に関する技術情報をほとんど持っていなかった。

「それで、しょうがないなということで、10進コン



4004 システムブロック図



4004CPU ブロック図

ピュータの詳細、たとえばこういうリソースがあって、こういう命令があって、電卓はこういうようにプログラムを組んでいる、そういうのを全部開示したんです。そうしたらテッド・ホフが、非常に興味を持って、あそこはどうなってるんだ、ここはどうなってるんだと聞くんです。彼は昔コンピュータをいろいろやっていて論理も少しは分かったからなんです。これでやっと話がかみ合うかなと思ったんですけども、何かどうもしっくりいかない。それは、後で分かったんですけども、インテルの事情があったんです。パッケージはメモリに使っている16ピンのパッケージを使いたい、あまりたくさんの種類のLSIを作りたくない、ランダム論理のLSIはトランジスタを2,000個以下にしたい、そういうことをホフは上から言われていたんです。だから、なかなかかみ合わないわけですね」

共同開発が行き詰まった8月下旬のある日、突然ホフが数枚の紙を手に嶋氏らの部屋に飛び込んできた。「アイデアが湧いた。My idea is……」と、紳士のホフにしては珍しく興奮しながら話したのは次のようなことであった。嶋氏の案は、応用に特化したマクロなレベルの命令を備えた10進コンピュータであったが、それを作るのは難しい。より低いレベルのマикроな命令を備える4ビットの2進コンピュータにしようというのがホフの提案であった。アイデア自体は悪くないと嶋氏は思ったが、ホフの提案を採用することはプロジェクトを一からやり直すことを意味した。どうしたものかと思案したが、日本からはおもしろそうだからやってみろと言ってきた。「やってみろと言われてたら、じゃ、やってみようという話になるわけです」。

インテルと具体的な話し合いを進めていくうちに5つの問題点が明らかになった。1番目の問題点は、共同開発するのは2進プロセッサのみだという点で、ROMやRAMは標準品を使えというのがホフの提案であった。LSIのみでシステムを構築することが嶋氏らの目標であったから、これを受け入れることはできなかった。2番目の問題点は、提案されたプロセッサには10進データ用の演算命令がなく、ルックアップテーブルで演算を実行しなければならないこと、3番目は、電卓用のマクロ命令を実行するインタプリタの実現方法が不明であること、4番目は、キーボード、プリンタ、ディスプレイ等の入出力機器をリアルタイムで制御しつつ演算を実行する方法や必要な命令が考えられていないこと、そして5番目は、命令セットがあまりに基本的過ぎることであった。

3カ月半かけてホフと議論し、これらの問題点を解決した。最終的には、ホフの提案にあった命令で採用しなかったものもあれば、共同で追加することにした命令もある。中には、インテルは反対したが、性能を上げるために必須ということで強引に入れさせた命令もあった。システムの構築には、中央処理ユニットであるCPU、プログラムを格納するROM、データを格納するRAM、入出力機器制御用の出力拡張ポートの4個のLSIのみでシステムを構築することができるようにした。これが4004の成功の要因である。

議論の結果を仕様書と設計計画書に書いてインテルに渡し、12月にいったん日本に戻った。1970年2月に正式契約が結ばれ、4月に今度は嶋氏1人でインテルを訪問した。契約では技術者を2人雇うことになっているし、これから先はインテルがやるだろうから、嶋氏は設計された論理回路のチェックをするつもりだった。ところが、行ってみて驚いた。フェデリコ・ファジンという回路設計者が1人雇われたばかりで、設計はまったくされていなかった。「こっちは開発費も払った、仕様書だって渡したではないか。何も進んでいないというのはどういうことなんだ」と嶋氏は激怒したが、あろうことか、ホフは「バケーションをとるから、あとはよろしく」と言い残して休暇に入ってしまった。「もう喧嘩してもしようがない」と嶋氏は腹を決め、4004CPUの論理設計を自分がやることにした。すでに設計計画書を作っていたので、論理設計自体は氏にとってそれほど難しくなかった。電卓の経験も役に立った。論理回路図を日本に送り、ブレッドボードでCPUを作って論理検証してもらった。それと並行して、ホフが作った論理シミュレータでシミュレーションを行い、嶋氏がバグを1つ見つけた。ちょうどその時、日本でも同じバグが見つかった。結局、4004CPUの論理ミスはそれ1つだけだった。

10月に4004のレイアウトがほぼできあがり、ビザの期限も切れるので日本に帰国した。そしてプリンタ付き電卓のプログラムにとりかかるとともに、試作用のエンジニアリングシステムを作った。翌年1月に4004CPUの最初のウエーハができたが、ポリシリコンとデュフュージョンをつなぐコンタクトが欠落していた。2回目は、ドライバ回路のレイアウトにちょっとした誤りがあった。3回目のものが3月にできあがったが、テスターの準備が整わなかったのも、とにかくクロックの動いているチップをパッケージに入れて日本に送ってもらった。届いた4004CPUをエンジニアリングシステムに組み込むと、嶋氏は胸の高鳴るのを感じながら、命令自体をテストする簡単なプログラムを実行してみた。動いている！ 操作盤の表示は、4004CPUが正しく動いていることを示していた。そういうテストを繰り返してから、いよいよ電卓のプロ



8080 時代の嶋氏

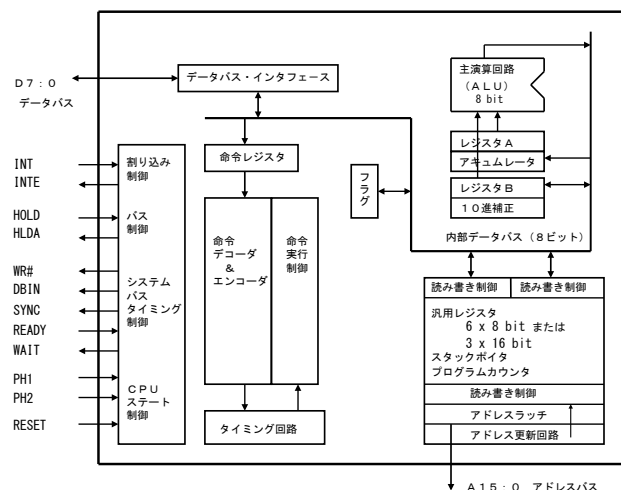
グラムを入れた。周りに集まってきた人たちの視線を嶋氏は強く感じた。

「リセットボタンを押して離すと動き出すようになっていたんです。それで、押すことはできたんですけど、離すのが怖かった。もうどきどきですよ。思い切って離して、表示を見たら、どうもキーボードをスキャンしているらしい。キーボードを押してみようと言われて、1, 2, 3. あと、+を押せばプリンタが打ち出すはずなんです。なかなか押せない。やっと押してみると、プリンタが動いて「123 +」と打つんですよ。その次は「456 +」、また打つんですよ。じゃ、トータルをやってみようか。トータルを押すと、123 + 456の結果が正しく出てくるんです。何やってもみんな動くんですよ」

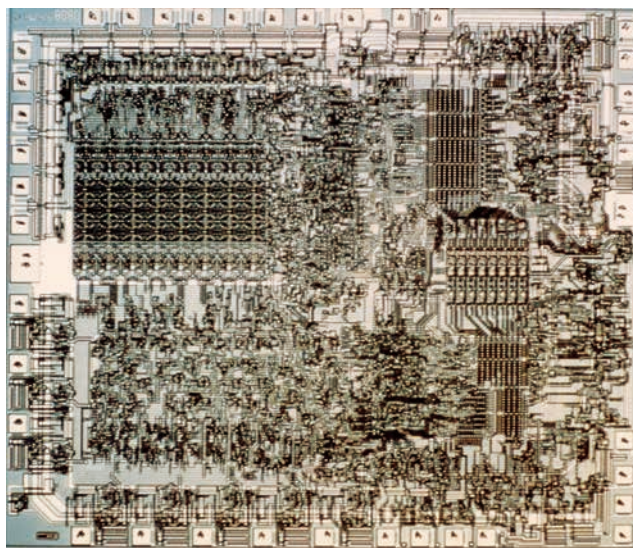
こうして世界初のマイクロプロセッサ 4004 が誕生した。インテルには「嶋が設計すると絶対大丈夫」という神話がで、それが次の 8080 に結びつくことになる。

8080 の開発

4004 を使用した電卓の開発が完了し量産ラインに下りたので、嶋氏はビジコンを辞めリコーに移った。1971 年 9 月のことだった。リコーではシステム開発部門でいろいろな仕事を手掛けたが、この経験が後の 8080 の開発に大いに役立った。とりわけ、NEC の NEAC-M4 という 8 ビットのミニコンピュータで磁気ドラム生産用のテスターを作る仕事を通じて、8 ビッ



8080 の内部ブロック図



8080 チップ写真

トのプロセッサはどうあるべきかということが完璧に分かった。

そうこうしているうちに、インテルから入社への誘いがあった。返事を躊躇していると、しびれを切らしたノイズガリコーの取締役役電話をかけてきた。「おまえのところの嶋をおれのところにくれ」というのであった。ずいぶん急いでいる様子だった。1972 年 11 月、嶋氏はリコーを退職して渡米した。

これに先立ち、インテルは 8008 という 8 ビットのマикроプロセッサを開発したが、いろいろな問題点があつてうまくいっていなかった。インテルに着くとすぐに嶋氏は「8008 の大改造」を命じられた。8008 の主な問題点は、キャラクタ処理に特化した基本的命令しか実装されていないこと、16KB のメモリ空間を有

するにもかかわらずそのアドレス計算やデータ転送のための命令がないこと、アドレスポインタが1本しかないこと、データメモリへのアクセスがレジスタ間接アドレッシングしかないこと、スタックが内蔵の小容量のものしかないため多重割込みの制御が困難なことなど、システムのエンジニアとしては許せないものばかりであった。インテルにはシステムのエンジニアがおらず、まともに論理を組める技術者もいなかった。それで嶋氏が呼ばれたのであった。

嶋氏は早速改造にとりかかった。まず、メモリ用パッケージを使うのはやめ、コンピュータに向けた40ピンのパッケージを採用し、標準的なシステムバスを設けることにした。スタックは外部メモリに置き、内部にスタックポインタを設けるとともに、POP/PUSH 命令を追加してスタックオペレーションを容易にした。メモリ空間は64KBに拡大し、16ビットのアドレス計算のための加減算命令や転送命令を追加した。アドレスポインタは3本にし、直接アドレッシングでデータ転送ができるようにするなど、8008のウィークポイントを改良した。作業を急ぐことが要求されたため、「仕様書を作りながら論理図を作りながら回路設計をしながらというような感じで、突貫工事でやった」。

1974年1月に開発が完了した。これが8080である。翌月フィラデルフィアで開かれたIEEEの固体素子回路会議で発表すると、大好評で立ち見席ができるほど聴衆が集まった。8008は1ステート2クロックでやっていたが、これを1クロックにしたこと、そして標準のシステムバスが定義されたことが評判になった。8008の25倍の速さで、ある量のデータをメモリ内で移動できるなど、性能は格段に向上した。8080は1ドル280円の時代に300ドルで飛ぶように売れ、最初の5カ月間で開発費のすべてを回収できるほどであった。ところが、グラウンドの設計ミスが見つかり、大電流が流れるTTLデバイスと使用するには問題のあることが分かった。そこで製造済みの8080はローパワーTTL互換として販売した。8080の内部のチップには「丸に三つ引き」の嶋家の家紋が刻印されていたが、グラウンドを修正した8080Aでは家紋が取ら

れてしまった。

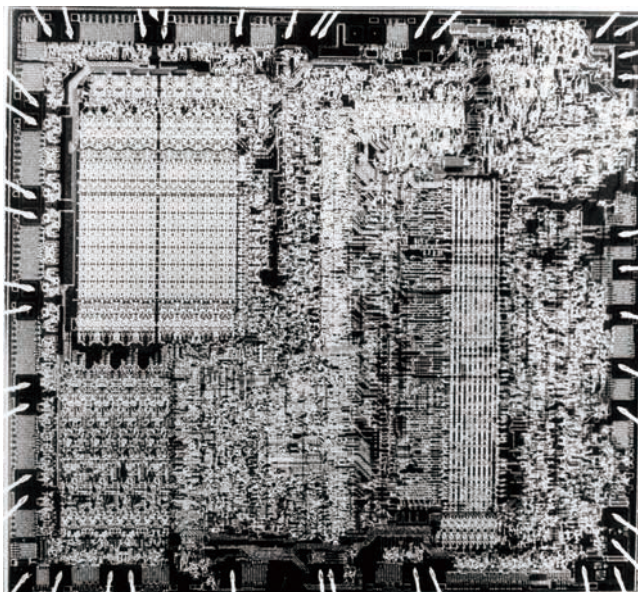
Z80の開発

その頃になると、8ビットのマイクロプロセッサもかなり性能が向上し、DRAMもレイアウトに自由度のある4Kビットのものが大量に出てきた。IBMの8インチフロッピーディスクが登場し、DOSの時代になれば、コンピューティングパワーに対するニーズが高まるだろう。それに見合った高性能なマイクロプロセッサを開発したいと嶋氏は思った。ファジンも同じ意見だったが、会社方針は別だった。インテルとしては、2チップでシステムが組めるフェアチャイルド^{☆3}のF8に対抗する製品を作ろうとしていた。

「会社方針と合わなかったのと、もう1つは、インテルがマイクロプロセッサの開発者の称号をテッド・ホフに与えたんです。それで、ファジンがもうこんな会社にもしょうがないと言って飛び出して、ザイログを作った。じゃ、私も一緒にということでザイログに行きました。こっちでは高性能なマイクロプロセッサを開発しようじゃないかと開発したのがZ80です。究極の8ビットマイクロプロセッサを開発しよう、8080とバイナリコードで互換性を持たせよう、コンペティターであるモトローラの6800のいいところを全部取り込もう。そうして生まれたのがZ80だったんです」

汎用レジスタ、アキュムレータおよびフラグを2セット備えて、割り込みやサブルーチン切り替え時にそれらをスタックにセーブしなくてよいようにするなど工夫をするとともに、ローテート命令、ビット操作命令、16ビットの算術演算、データ転送命令等、いろいろな命令を増やした。命令を増やすにあたっては、プリフィックス命令という新手法を導入した。既存の命令の前にプリフィックスを付けることにより、命令の機能を拡張し、少ないトランジスタで命令を増やすことが可能になる。プリフィックス命令は後にインテ

^{☆3} インテルはフェアチャイルドをスピンアウトしたノイスらが創業した。

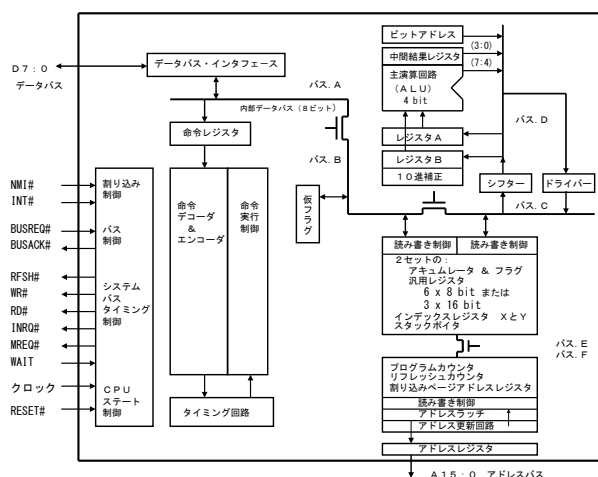


Z80 チップ写真

ルの 386 でも使用されたが、特許を取っておけばよかったと嶋氏は思った。

論理設計は嶋氏が 1 人でやった。困ったのは、トランジスタ 5,000 個からなる 8080 の論理図が嶋氏の頭の中に入っていることだった。Z80 の内部を 8080 とは異なる設計にしなければならないため、空間分割システムバス方式を考案した。1 つのバスをトランジスタで分割し、分割されたバスの 1 つを使ってアキュムレータの内容を主演算回路のテンポラリレジスタに格納している間に、他のバスでフラグの内容をテンポラリレジスタに格納するというように、複数の処理を並列実行する。たとえば外部からの入力データを汎用レジスタに格納する場合、1 本の長いバスがあるとそこがクリティカルパスになるが、バスの一部を切り離すことによってその分だけ速くデータを転送することが可能になる。主演算回路は 4 ビットとし、パイプラインによって 8 ビット、16 ビットの演算ができるようにした。8 ビットの主演算回路を使わないことによって、8080 とは論理がまったく異なるようになり、サイズも小さくなって、レイアウトも楽になった。

Z80 の開発は悪戦苦闘したが、プロジェクト開始から 1 年余りで完成し、1976 年 3 月には量産が始まった。「絶対売れる」と嶋氏が予想した通り Z80 はベストセラーとなった。



Z80 の内部ブロック図

インタビューを終えて

当日は、回路図やレイアウトを含むいろいろな資料を持参され、技術的にかなり詳しくお話しいただいたが、本稿では紙数の都合でそれらは割愛させていただいた。途中で時間切れとなり、Z80 の開発以降の話が同えなかったのは残念である。

(編集担当: 旭 寛治)

◆インタビュー紹介 (五十音順)

旭 寛治 (名誉会員) asahi@fw.ipsj.or.jp

(株) 日立製作所基本ソフトウェア本部部長、ストレージソリューション本部長、(株) 日立テクニカルコミュニケーションズ代表取締役等を歴任。1999 年本会理事、2005 年副会長。歴史特別委員会幹事。コンピュータ博物館実行小委員会主査。本会フェロー。

湖東俊彦 kotoh_toshihiko@yahoo.co.jp

1968 年東京大学工学部電子工学科卒業後、日本ソフトウェア (株) 入社。1971 年文部省国費留学生として西独アーヘン工科大学にて EXAPT 開発に従事。1973 年富士通 (株) にて OS 開発に従事。2002 年本会事務局長。2011 年日本信頼性学会アドバイザー。

発田 弘 (名誉会員) hatta746@oki.com

1963 年東京大学工学部電子工学科卒業。同年日本電気 (株) 入社。2002 年同社退社。同年沖電気工業 (株) 入社。歴史特別委員会委員長。

前島正裕 (正会員) maejima@kahaku.go.jp

1986 年東京農工大学工学部電気工学科卒業。1988 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年、国立科学博物館に任官。2002 年国立科学博物館理工学研究部 主任研究官。2007 年同研究主幹。歴史特別委員会委員。

山田昭彦 (正会員) a.yamada@computer.org

1959 年大阪大学工学部通信工学科卒業。日本電気、都立大工学部、国立科学博物館、東京電機大理工学部を経て、現在、コンピュータシステム & メディア研究所。元歴史特別委員会委員。本会フェロー。